

*Las cuencas torrenciales presentan una respuesta hidrológica caracterizada por avenidas súbitas y violentas, que transportan grandes cantidades de material sólido, pudiendo afectar gravemente a la seguridad personal y material de las áreas dominadas.*

*En España la torrencialidad se manifiesta, fundamentalmente, en torrentes de alta montaña y en ramblas o rieras mediterráneas. En el presente artículo se pretende exponer brevemente las principales técnicas estructurales de corrección de cauces torrenciales, incidiendo especialmente en el control y la gestión del caudal sólido.*

Raül López Alonso  
Dpto. de Ingeniería Agroforestal  
Universidad de Lleida

# Hidrotecnias para la gestión de acarreos en cauces de montaña

Las cuencas torrenciales se caracterizan por sufrir episodios de precipitación muy intensos, importantes alturas de precipitación en cortas duraciones, que dan lugar a avenidas súbitas con elevados caudales máximos y que transportan grandes cantidades de materiales sólidos, tanto en suspensión como en arrastre de fondo o acarreo. La fenomenología torrencial tiene importantes repercusiones sobre el medio, que van desde los efectos en la propia cuenca torrencial, como la pérdida y degradación del suelo, movimientos en masa del terreno y erosión lineal en los cauces, hasta el aterramiento de embalses, corte de vías de comunicación, inundación de núcleos de población y campos de cultivo, en las áreas dominadas aguas abajo. Sin olvidar, ante todo, el tributo en vidas humanas que periódicamente se cobran estas violentas crecidas. En España, estos fenómenos se presentan más intensamente en dos ámbitos: las montañas de cierta al-

titud con clima relativamente húmedo y las cordilleras del litoral mediterráneo. Además de la geomorfología o climatología de estos dos escenarios, de por sí ya favorecedoras de la torrencialidad, en ocasiones los efectos se ven agravados por la deforestación de la cuenca de cabecera, provocada por incendios o por el uso inadecuado de los recursos naturales (cubierta vegetal inadecuada o insuficiente, pastoreo abusivo, etc.)

El control de los efectos anteriores se puede llevar a cabo a través de una adecuada ordenación agrohidrológica del medio y de la ejecución de proyectos de restauración hidrológico-forestal. En dichos proyectos se toman medidas de corrección, tanto en la cuenca, fundamentalmente repoblaciones forestales y técnicas de conservación del suelo, como en los cauces, obras hidráulicas y bioingeniería fluvial. Es decir, son medidas técnicas, biológico-forestales y socioeconómicas, que deben actuar integradamente para lograr





la máxima eficiencia correctora. En el presente artículo nos ocuparemos únicamente de las obras hidráulicas que actúan en cauces torrenciales, lo que convencionalmente ha venido denominándose hidrotecnias para el control de torrentes, y que en ciertos cauces de alta montaña de acusada torrencialidad pueden considerarse todavía como las medidas más eficaces.

En general, podríamos decir que el control de torrentes, o utilizando la terminología más reciente, la gestión de acarreo, tiene como finalidad reducir o incluso eliminar la producción y el transporte de sedimentos a lo largo del torrente. Lo anterior no significa que las actuaciones que se lleven a cabo no influyan positivamente sobre los caudales líquidos, sino que en la elección de criterios de diseño predominan los enfoques relacionados con el caudal sólido. Para una mejor comprensión de las estrategias de gestión de acarreo podemos distinguir una serie de funciones o principios básicos. Así, pues, las funciones denominadas estabilización y consolidación se orientan predominantemente hacia la prevención de la incisión del cauce del torrente; mientras que las que se relacionan con el control selectivo del transporte sólido se denominan retención, clasificación, dosificación y control de lavas torrenciales. La combinación de dichas funciones es frecuente, ya sea a partir de varias estructuras que cumplan diferentes operaciones, o bien integrando varias de ellas en un solo dique. En cualquier caso, la construcción de diques realmente eficientes de control selectivo ha podido realizarse, a partir de las últimas décadas, gracias a las mejoras en los materiales, maquinaria y acceso, por un lado, y al aumento del conocimiento científico del fenómeno hidráulico de carácter torrencial, por otro. A continuación se propone una definición para cada función y se exponen sucintamente las principales características de las estructuras que deben cumplirlas.

#### ESTABILIZACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DEL LECHO

La estabilización del lecho de un cauce torrencial consiste en fijarlo al nivel requerido, para detener o prevenir la incisión del mismo por erosión lineal, mientras que la consolidación pretende detener o prevenir desliza-

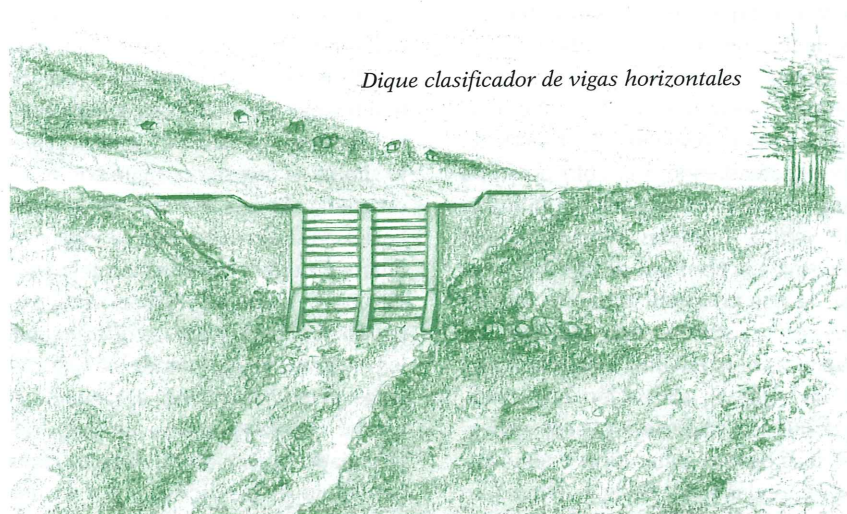
*Con las estructuras clasificadoras se pretende realizar una retención selectiva de los sólidos transportados en función de su tamaño, esto es, no permitir el paso del material superior a un calibre determinado. Este objetivo se confía a diques transversales abiertos (...) que efectúan un filtrado mecánico.*

mientos e inestabilidades de los márgenes del torrente. Es muy frecuente que ambos objetivos se cumplan simultáneamente mediante la construcción de diques, transversalmente a la dirección del torrente, de modo que los acarreo retenidos van formando un aterramiento que eleva el cauce con una pendiente menor que la del cauce primitivo. Esta nueva pendiente se denomina pendiente de equilibrio, porque no es erosionable por el caudal generador del lecho, que es el responsable de la morfología del cauce. Si se construyen varios diques a lo largo de la garganta del torrente, con la separación adecuada, se consigue un nuevo perfil longitudinal estabilizado. Esta elevación del cauce, debido a lo cerrado de las secciones, provoca un aumento considerable del ancho de la sección y, por otro lado, ejerce una influencia consolidadora sobre las antiguas márgenes. Tanto la disminución de la pendiente como el ensanchamiento de la sección trabajan en el sentido de disminuir la velocidad media y el calado del flujo.

Asimismo, el perfil escalonado definido por la corrección colabora en la disipación energética originada por el salto del flujo en las secciones de ubicación de los diferentes diques. Todo esto contribuye a que la respuesta hidrológica se atenúe, dado que aumenta sensiblemente la capacidad de laminación de avenidas del cauce. Actualmente este tipo de estructuras continúan siendo las más numerosas y representan la herramienta estructural más común del control de torrentes.

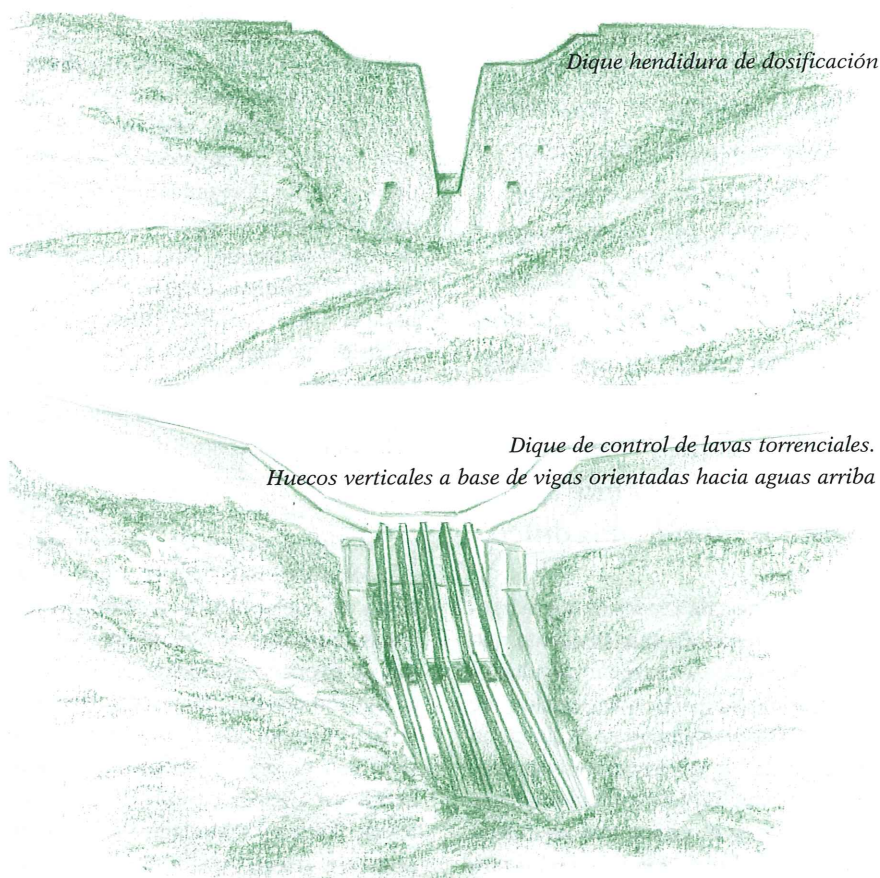
#### RETENCIÓN

Consistiría en retener y almacenar la totalidad del acarreo que llega hasta una determinada sección del torrente. Bajo este planteamiento, las zonas de depósito que deben cumplir esta función resultan demasiado grandes, si se pretende que la vida útil de la obra sea la mayor posible, debiendo acudir en algunos casos a diques mixtos de fábrica y materiales sueltos, con objeto de reducir costes en la estructura. Por añadidura, la experiencia acumulada ha demostrado que el volumen de depósito se llena con los acarreo de episodios de frecuencia alta y media; consiguientemente, cuando se produce la avenida de alto período de retorno, ya no hay volumen disponible para los materiales realmente problemáticos. Por otra parte, con estos diques la mayoría de los acarreo quedan retenidos, por lo que se altera el papel del torrente como agente modelador terrestre. En consecuencia, en tramos aguas abajo del cauce se hace patente el déficit de material que da lugar a un proceso de incisión del mismo por erosión, en zonas en las que anteriormente podía predominar el transporte o in-



*Dique clasificador de vigas horizontales*





cluso la sedimentación. Así, pues, con objeto de alterar mínimamente la modelación fluvial, en las últimas décadas se produce una reconsideración de los objetivos (no retener toda la fracción granulométrica, sino seleccionar la responsable de los efectos catastróficos) y de las técnicas (diques abiertos) del control de sedimentos.

### CLASIFICACIÓN

Con las estructuras clasificadoras se pretende realizar una retención selectiva de los sólidos transportados en función de su tamaño, esto es, no permitir el paso del material superior a un calibre determinado. Este objetivo se confía a diques transversales abiertos, es decir, que constan de aberturas en su cuerpo, de modo que efectúan un filtrado mecánico. Dichas aberturas pueden ser el resultado de diseños diversos, atendiendo a la colocación de vigas o barras en orientación horizontal, vertical o ambas (reticulares) que determina la tipología de huecos. A pesar de que no existe consenso, ciertos autores consideran más efectivas las aberturas horizontales, formadas a partir de vigas en alineación horizontal, que pueden anclarse a pilares verticales si se desean evitar luces excesivas.

Es fundamental llevar a término un

adecuado mantenimiento, porque los restos flotantes de material arbóreo en corrientes bajas pueden obturar los espacios inferiores, reteniendo incluso el material más fino. Después de una avenida importante los bolos y troncos detenidos deben desalojarse mediante maquinaria, para dejar espacio útil a la próxima. Debido al relevante papel que tienen los restos de plantas, árboles y troncos en los desastres torrenciales, es habitual diseñar estructuras de clasificación especialmente concebidas para este tipo de materiales.

### DOSIFICACIÓN

El objetivo es dosificar el acarreo de las avenidas, de modo que el material sólido más problemático sea evacuado durante un intervalo mayor de tiempo, evitando caudales sólidos punta excesivos. La idea es lograr un efecto similar al que se consigue con el hidrograma de una avenida en los embalses de laminación. Esto se logra mediante un dique transversal que consta de una o varias hendiduras verticales que lo atraviesan y por las que circulan los caudales bajos, cuando no hay crecidas. El funcionamiento es tal que si el caudal circulante supera un valor determinado la sección de desagüe de la hendidura es insuficiente, por lo que

entonces el dique supone un obstáculo y tiene lugar un resalto hidráulico así como también un efecto de remanso. Estos efectos provocan la disminución de la velocidad media y la consiguiente desmovilización del material más grueso.

Este dique-hendidura debe diseñarse para que los caudales menores o de flujo base, que no resultan perturbados por la hendidura y, por lo tanto, circulan con mayor velocidad, sean capaces de transportar el depósito producido en la avenida. Debido a estos requerimientos, esta tipología no se aconseja cuando el transporte de fondo presenta una granulometría demasiado extendida, ya que entonces debería ser operativo en un amplio rango de caudales, lo que es difícil de conseguir. Nuevamente, hay que hacer hincapié en la importancia de mantener y vigilar el funcionamiento de la estructura, que en este caso se debe a la posibilidad de que las hendiduras resulten obturadas por grandes bolos, troncos o material cohesivo difícil de erosionar. De lo expuesto más arriba se desprende que los diques que cumplen la función clasificadora son los que presentan una mayor dificultad de diseño, puesto que no se trata de una clasificación meramente mecánica, sino hidrodinámica en la que intervienen factores de evaluación complicada.

### CONTROL DE LAVAS TORRENCIALES

La lava torrencial se puede describir como un flujo formado por una mezcla de agua, sólidos y aire. Frecuentemente se inicia por derrumbes causados por avenidas extremas, requiriendo depósitos de rocas sueltas y suelos, altas pendientes y agua con origen en tormentas o fusión nival. A medida que la lava torrencial se desarrolla en la garganta de un torrente, se produce erosión del material del cauce, incrementándose la densidad de la onda de avenida. Este tipo de flujo presenta un gran poder destructivo, que le confieren los elevados pesos específicos y velocidades alcanzadas, de modo que las fuerzas hidrodinámicas que pueden actuar sobre las obras de corrección son varias veces mayores que la fuerza o acción hidrostática. Por todo ello es evidente que las técnicas de control de lavas torrenciales deben di-



ferir de las convencionales que se han tratado en los apartados precedentes.

Dos son los métodos más utilizados: los diques transversales de disipación energética y el dispositivo Clauzel. Respecto al primero, su principal objetivo no es tanto la deposición de la lava, lo que requeriría grandes espacios de sedimentación que no siempre están disponibles en los tramos altos, cuanto dividir la onda en diversos frentes para reducir la velocidad y disipar su energía, de tal modo que facilite su deposición en localizaciones óptimas aguas abajo. Obviamente, los diseños de estas estructuras deben conseguir que se aúne la solidez frente a las intensas fuerzas hidrodinámicas de la lava y la eficiencia en la disipación del nivel energético de las mismas. La práctica ha puesto de manifiesto que esto se consigue con estructuras de sección abierta, dotadas de grandes contrafuertes verticales orientados hacia aguas arriba y unidos mediante una gran viga horizontal. Asimismo, las zonas de la estructura que sufren directamente los impactos se protegen convenientemente con placas de hierro o acero.

Por otro lado, el dispositivo Clauzel, denominación que toma de su diseñador, tiene por objeto el control de las lavas torrenciales a partir del aumento de la viscosidad de la masa, que se logra con la extracción de una cierta cantidad de agua y limos o arcilla. En efecto, mediante la disminución de la acción lubricante del agua y de la fracción más fina de los sólidos transportados, se reduce la velocidad del

flujo causando la desmovilización del material más voluminoso y pesado. Para conseguirlo, el dispositivo consta de un vertedero horizontal, excavado en el lecho y cubierto por una reja de perfiles metálicos, que es el encargado de captar el agua y los finos a un canal de derivación. Aguas abajo de la reja se acondiciona el lecho del torrente para que se acumule el material más grueso que no se ha derivado por el enrejado. Este método cuenta con la ventaja de que no opone ningún obstáculo transversalmente a la lava, por lo tanto, no requiere construir estructuras sumamente reforzadas, como son los diques transversales anteriormente citados.

### ENCAUZAMIENTO ESCALONADO EN SUBTRAMOS EROSIONABLES

Si bien esta actuación no puede considerarse como una función básica de las expuestas más arriba, interesa analizarla, siquiera brevemente, dada su singularidad y frecuente uso en corrección torrencial. Este tipo de estructura suele ubicarse en el lecho o cono de deyección de los torrentes, caracterizándose por ser éstos tramos donde se produce un brusco ensanchamiento de la sección y una disminución de la pendiente longitudinal, como paso previo a la incorporación del torrente a un curso de mayor orden en la jerarquía de drenaje. En estas condiciones el cauce es de naturaleza divagante, pudiendo interesar fijar el lecho y proteger frente a inundaciones a cultivos, infraestructuras viarias o núcleos de población. Generalmente, un encauzamiento significaría el aumento del caudal unitario, ya que la sección proyectada suele ser más estrecha que la original, al que iría asociado un proceso de incisión del lecho a causa del aumento de la capacidad tractiva del flujo. Con objeto de evitarlo se recurre a un tipo de estructura que además de diques longitudinales cuenta también con unos rastrillos o pequeños diques transversales, sobresaliendo del lecho una altura entre 1 y 2 m y que se distribuyen regularmente a lo largo del en-



*Encauzamiento escalonado en subtramos erosionables*

cauzamiento. De este modo, para el caudal de diseño, se produce un aterramiento aguas arriba de cada rastrillo con una pendiente menor que la original, siendo estable a la erosión para dicho caudal. Aguas abajo de cada rastrillo, además, se produce un resalto hidráulico que colabora a que el flujo se entregue con menor nivel energético. La pendiente longitudinal del encauzamiento sufrirá oscilaciones entre la pendiente de equilibrio, para el caudal de diseño, y la pendiente original, determinada por la unión del umbral de los rastrillos, cuando sea superado el caudal de diseño.

A pesar de que esta obra pueda recordar a la corrección escalonada de la garganta de un torrente mediante diques transversales de estabilización-consolidación, no debemos dejar de apreciar las diferencias conceptuales que existen entre ambas actuaciones, especialmente el hecho de que mientras que ésta última provoca un ensanchamiento efectivo de la sección en la garganta, un encauzamiento escalonado produce todo lo contrario, por lo que las situaciones a manejar son opuestas. ♦

*El dique-hendidura debe diseñarse para que los caudales menores o de flujo base, que no resultan perturbados por la hendidura y, por lo tanto, circulan con mayor velocidad, sean capaces de transportar el depósito producido en la avenida.*

#### BIBLIOGRAFÍA

- ARMANINI, A.; DELLAGIACOMA, F. y FERRARI, L.: "From the check dam to the development of funtional checks dams", en ARMANINI, A. y DI SILVIO, G. (Eds.) (1991): *Fluvial Hydraulics of Mountain Regions*. Springer-Verlag, pp. 331-344.
- DEYMIER, G.; TACNET, J-M. y MATHYS, N. (1995): *Conception et calcul de barrages de correction torrentielle*. Cemagref.
- VV.AA. (1994): *Restauración hidrológico-forestal de cuencas y control de la erosión*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.